

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA

GUSTAVO PILON JÜRGENSEN

MONITORAMENTO E AUTOMAÇÃO DE ESTUFA AGRÍCOLA

Joinville
2022

GUSTAVO PILON JÜRGENSEN

MONITORAMENTO E AUTOMAÇÃO DE ESTUFA AGRÍCOLA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecatrônica no curso de Engenharia Mecatrônica, da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Orientador: Dr. Giovani Gracioli.

Joinville
2022

Dedico este trabalho a toda a minha família e a instituição de ensino UFSC-Joinville

AGRADECIMENTOS

Agradeço a colaboração do professor Dr. Giovani Gracioli pelo apoio, instruções e auxílio durante o decorrer deste trabalho e no curso. A professora Vanessa Aparecida Alves de Lima pelo auxílio com questões de estruturações e conceitos textuais.

E é claro à toda a minha família pelo apoio e suporte no decorrer deste processo e também aos meus parentes que me mostraram como é o lado dos agricultores no cultivo em estufas.

RESUMO

As inconstâncias climáticas, aumento populacional e terras cada vez menos produtivas, exigem inovações para garantir uma agricultura sustentável e o abastecimento futuro da população. A estufa inteligente é uma alternativa viável que combate possíveis colapsos nesse setor, controlando o ambiente e cultivando safras de qualidade durante todo o ano, independente de condições externas. Ademais do avanço que a agricultura em estufa representa para o cultivo, ainda existem desafios quanto a mão de obra e eficiência. Este trabalho apresenta conceitos da Internet das Coisas (IoT), aplicação sensores e atuadores, topologias de redes e análise de dados aplicados a uma estufa agrícola. Através de uma aplicação web o usuário pode consultar os dados adquiridos, neste caso umidade e temperatura, umidade do solo e luminosidade, além de regular os sistemas de controle das variáveis.

Palavras-chave: IoT. Estufa inteligente. Lora. Automação. Aquisição de Dados.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
1.1	Objetivos	7
1.1.1	Objetivo geral	7
1.1.2	Objetivos específicos	7
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
2.1	Agricultura de precisão	9
2.2	Tecnologia de cultivos em estufas	10
2.3	IoT na agricultura	11
3	SISTEMA DE MONITORAMENTO E AUTOMAÇÃO PROPOSTO	14
3.1	Modelagem do sistema	14
3.1.1	Levantamento de Requisitos	14
3.1.2	Modelagem de Diagramas UML	14
3.2	Apresentação do Hardware	17
3.3	Desenvolvimento Testes	20
3.3.1	Testes Unitários	21
3.3.1.1	Testes unitários do sistema da Estufa	21
3.3.1.2	Testes Unitários API	22
3.3.2	Testes Integrados	23
4	IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS	26
4.1	Validação de Requisitos	31
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
	REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional, mudanças climáticas inesperadas e poluição ambiental a agricultura está sofrendo com os desgastes nas terras férteis e piorando a cada ano, o que gera o desafio de garantir a segurança de comida para gerações futuras. Segundo a Food and Agriculture Organization (FAO, 2013), a população mundial aumentará para 9.73 bi em 2050 e 11.2 bi em 2100, portanto, a indústria agrícola tradicional requer mudanças para garantir o abastecimento futuro da população e, um meio que pode ser viável para esta situação é o cultivo em estufas.

A utilização de estufas para cultivo foi introduzida comercialmente na Holanda (HIDROGOOD, 2018), desde então, foi difundida por outros países se tornando umas das indústrias de maior crescimento do mundo. A estufa é semelhante a uma casa, mas geralmente construídas com plásticos transparentes e estruturas de metais ou madeira, esse layout permite a produção de diferentes tipos de alimentos e em todas as estações do ano, preservando as condições climáticas necessárias para o crescimento da planta (como temperatura, umidade, luminosidade) e também preveni o cultivo de doenças e pestes (HIDROGOOD, 2018). A Figura 1 apresenta diferentes tipos de cultivos em estufas que podem se adaptar desde os cultivos de flores em solo até o de hortaliças em hidroponia.

Figura 1 – Diferentes tipos de cultivo em estufas



Autor: Gustavo Pilon Jurgensen

Segundo Tapiwa (2019), dependendo da instalação das estufas, o rendimento das safras pode aumentar em até 12% em relação à agricultura tradicional, entretanto, a manutenção necessita de mais recursos que na abordagem tradicional e, se não feita corretamente, gera impactos negativos nas safras que são muito dependentes de parâmetros como resfriamento, aquecimento, luminosidade, fluxo de água, ventilação, e níveis de CO₂, conseqüentemente, diminuindo os lucros econômicos. Integrando a Internet of Things (IoT) às estufas, acredita-se poder torná-las *smart*, que é uma

solução para diminuir a mão de obra requerida e auxiliar os fazendeiros.

O termo IoT, internet das coisas, se refere a um sistema onde são conectados diversos sensores à controladores para monitoramento de dados geralmente disponibilizados via internet. Os sensores coletam os dados das variáveis do ambiente e os enviam para os controladores, que podem ter atuadores para agirem sobre o meio sem a intervenção humana, mas o principal é o envio dos dados para *servidores cloud*, ou seja, podem ser acessados remotamente pelo usuário, para que o sistema possa ser monitorado de qualquer lugar (MINERVA; BIRU; ROTONDI, 2015).

A confecção do projeto será realizada a partir do estudo dos diferentes tipos estufas, os procedimentos de cultivo e como pode ser o máximo controlada sem intervenção do agricultor. Para isso serão utilizados microcontroladores com módulos de comunicação baseada em Long Range (LORA), diversos sensores desde a umidade do solo à luminosidade do ambiente e, tudo isso sendo acompanhado por uma aplicação web.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho visa apresentar o quanto o cultivo e o agricultor são beneficiados com a integração de IoT na agricultura, tornando a agricultura em estufa um sistema totalmente autônomo com controle de condições climáticas necessárias para um adequado crescimento da planta, desde temperatura até a fertilização do solo, fazendo com que o agricultor tenha o menor trabalho possível e conseqüentemente aumento no lucro e no rendimento. Tudo isso buscando tornar essa tecnologia acessível para a maioria dos fazendeiros a um baixo custo, pelo menos a parte de aquisição de dados.

1.1.1 Objetivo geral

Aplicar a IoT a um sistema de monitoramento e automação para estufa agrícola visando mostrar o benefício que a tecnologia para o produtor quando integrada à agricultura.

1.1.2 Objetivos específicos

A implementação do projeto tem como principais objetivos:

- a) Conhecer as principais necessidades de melhoria no cultivo em estufa;
- b) Projetar e construir uma estufa em escala reduzida para proporcionar um ambiente de proteção para o cultivo;
- c) Desenvolver os sistemas de controle de clima e solo;
- d) Adquirir dados e disponibilizá-los em uma aplicação web;
- e) Avaliar a economia de recursos, produtividade e diminuição da mão de obra, em relação à abordagem tradicional.

O restante deste trabalho é composto pela fundamentação teórica, no capítulo 2, necessária para a compreensão dos conceitos e possíveis elementos a serem utilizados ao longo do projeto. Já o capítulo 3 apresenta o desenvolvimento da modelagem do problema e o seu desenvolvimento a partir de testes, o capítulo 4 apresenta os resultados alcançados tanto na implementação dos atuadores quanto na análise gráfica dos dados coletados e por fim no capítulo 5 a conclusão.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O desenvolvimento de um sistema supervisor e autônomo de cultivo em estufa é um tema que abrange diversas áreas desde as tarefas do campo às novas tecnologias de automação. Para isso neste capítulo serão abordados os principais temas, como agricultura de precisão, tecnologia de cultivos em estufas e a aplicação de IoT na Agricultura.

2.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO

Sempre existiu uma preocupação em garantir o suprimento de alimentos para o futuro, já que existe um aumento populacional e decréscimo em terras aráveis, requerendo maior produção agrícola, produção intensiva, qualidade e sustentabilidade dos recursos envolvidos já que os mesmos vêm diminuindo ao longo dos anos. Segundo Gebbers e Adamchuk (2010), inicialmente, a agricultura de precisão era utilizada para distribuição de fertilizantes para diferentes condições do solo, no entanto, as técnicas evoluíram, como orientação automática de veículos e implementos agrícolas, máquinas e processos autônomos, rastreabilidade de produtos, pesquisa na fazenda e software para o gerenciamento geral dos sistemas de produção agrícola.

Apesar das diferenças nos tipos de tecnologia e áreas, os objetivos da agricultura de precisão são divididos em três pilares. Em primeiro, otimizar o uso dos recursos disponíveis para aumentar a rentabilidade e a sustentabilidade das operações agrícolas. Em segundo lugar, para reduzir o impacto ambiental negativo e, em terceiro, melhorar a qualidade do ambiente de trabalho e os aspectos sociais da agricultura, pecuária e profissões relevantes. Também é difícil quantificar os benefícios da agricultura de precisão em geral, mas se mostrou lucrativa em 68% dos casos (GEBBERS; ADAMCHUK, 2010).

Segundo Gebbers e Adamchuk (2010), a agricultura de precisão pode ser aplicada em diversos campos da agricultura, como medição de variações em solos e culturas, detecção de solo e colheita e para tomada de decisão do agricultor. A variação no desempenho de uma cultura pode se dar em razão do solo, doenças, ervas daninhas, pragas e manejo inadequado de umidade do solo, teor de matéria orgânica, pH, estresse hídrico e, geralmente, essas condições têm sido avaliadas por análise laboratorial, o que geralmente dificulta o monitoramento com a frequência necessária.

Para detecção de solo e colheita se utiliza tecnologias de sensoriamento remoto e proximal para melhorar as medições, assim como, o sensoriamento remoto depende da aquisição de imagens por meio de sensores instalados em uma plataforma aérea ou satélite, enquanto o proximal é baseado no solo e ligados a um receptor *Global*

Navigation Satellite System (GNSS) (GEBBERS; ADAMCHUK, 2010). A vantagem do sensoriamento remoto é que todo o campo pode ser capturado em uma foto, mas fornece uma representação pobre do ambiente, já o proximal, apesar de ter que ser deslocado pelo ambiente, permite uma detecção direta dos componentes do solo (GEBBERS; ADAMCHUK, 2010) .

Gebbers e Adamchuk (2010), citam que a agricultura de precisão contribui para a tomada de decisão do agricultor de duas maneiras, a preditiva e a reativa. Na abordagem preditiva as informações do histórico de produção e outros registros de dados são utilizados para prever o desempenho variável da cultura e as necessidades de insumos, já na reativa, a abordagem é feita em tempo real em locais onde as condições ambientais mudam de acordo com a época, geralmente é utilizada na aplicação de insumos e água.

2.2 TECNOLOGIA DE CULTIVOS EM ESTUFAS

O cultivo de estufa surgiu com a necessidade do cultivo de mudas ou vegetais em regiões que não possuem condições climáticas produzi-los, como regiões muito frias. Atualmente, com o avanço tecnológico, as estufas passaram a ser aplicadas em diversos lugares, possibilitando economizar recursos, garantir a qualidade no produto, produzir o ano todo e, conseqüentemente, maximizar os lucros do produtor. Segundo Pardossi, Tognoni e Incrocci (2004), as estufas podem ser divididas em três categorias:

- a) Low Technology Greenhouse Farms (LTG): geralmente é construído em zonas frias e temperadas e sua estrutura feita com madeira e coberta com plásticos, não possui um sistema de aquecimento, ventilação e quase nada de controle das condições climáticas internas. As LTGs são geralmente utilizadas para produzir vegetais e flores e possuem um menor custo de instalação;
- b) Medium Technology Greenhouse Farms (MTG): são estufas com nível intermediário de tecnologia e estrutura construída de metal e coberta com painéis plásticos ou placas de vidro. Diferente da LTG, a MTG possui melhor eficiência em controlar as condições climáticas internas a tornando independente das condições externas, podendo ser construída em outros tipos de clima, no entanto, tem custo mais elevado de instalação;
- c) High Technology Greenhouse Farms (HTG): estufas de alta tecnologias geralmente construídas de ferro e vidro com tecnologia avançada de controle do ambiente, tornando-as adequadas para qualquer ambiente. Nas HTGs são controladas desde a temperatura até a quantidade de luminosidade do ambiente. Utilizadas em fazendas verticais possibilitam reduzir os custos de mão de obra na fazenda, mas são de altíssimo custo de implementação, o que a torna inacessível para a maioria dos produtores comuns.

Entretanto, o cultivo em estufa não significa apenas boas notícias. Pardossi, Tognoni e Incrocci (2004), que isso também representa desafios, por exemplo, a variação inadequada de temperatura, umidade e iluminação. As mudanças de temperatura alteram as propriedades físicas das plantas, podendo reduzir a produtividade das safras e provocar atraso na colheita, já a variação de umidade pode causar uma deficiência de nutrientes e permitir o ataque de pragas, a iluminação inadequada pode diminuir o nível de CO₂ e conseqüentemente a taxa de fotossíntese da planta.

Todos esses fatores afetam a produtividade, a qualidade das plantas e frutos, e rendimento da safra, assim, diminuindo o lucro do produtor. Isso requer que o produtor tenha um controle preciso dessas variáveis e para isso é utilizada a integração de sistemas de supervisão e controle. Ainda mais interessante que apenas isso é a possibilidade de integração de tecnologias como IoT, que permite ao agricultor o monitoramento remoto a qualquer momento e de qualquer lugar, além de um controle autônomo das diversas variáveis do ambiente, reduzindo o custo de mão de obra e recursos.

2.3 IOT NA AGRICULTURA

Inicialmente é necessário contextualizar do que se trata a Internet das Coisas (IoT - *Internet of Things*). Segundo Gillis (2021), a definição básica de IoT é integrar dispositivos computacionais, sensores, atuadores, objetos, animais ou pessoas e ter a capacidade de transferir os dados através de uma rede, sem exigir a intervenção humana. Por exemplo, pode ser utilizada em um implante de monitor cardíaco, coletar os dados de um animal na fazenda, um automóvel e seus sensores de alerta, e em outras aplicações que podem fornecer dados para o usuário.

O funcionamento da IoT é baseado nos dispositivos que coletam os dados do ambiente (sensores) conectados a um gateway ou a outro dispositivo de borda em que os dados são enviados para bancos de dados, onde poderão ser exibidos ou analisados. Não é o principal intuito do IoT, mas às vezes esses dispositivos também são conectados com atuadores para modificar o ambiente dependendo das condições, fazendo a maior parte do trabalho sem a intervenção humana, necessitando apenas o trabalho de configurar os dispositivos, fornecer instruções via software e acessar os dados adquiridos, e pequenas manutenções corretivas (GILLIS, 2021).

A Internet das coisas oferece vários benefícios ao usuário, alguns específicos do setor e alguns que são aplicados a vários setores, como monitorar os processos de negócio, melhorar a experiência do cliente, economizar tempo e dinheiro, aumentar a produtividade do funcionário, integrar e adaptar modelos de negócios e tomar melhores decisões, conseqüentemente, gerando mais receita (GILLIS, 2021). Geralmente, a

IoT é mais utilizada em casos de manufatura, transporte e automação residencial, no entanto, a demanda vem crescendo em setores da agricultura e agropecuária.

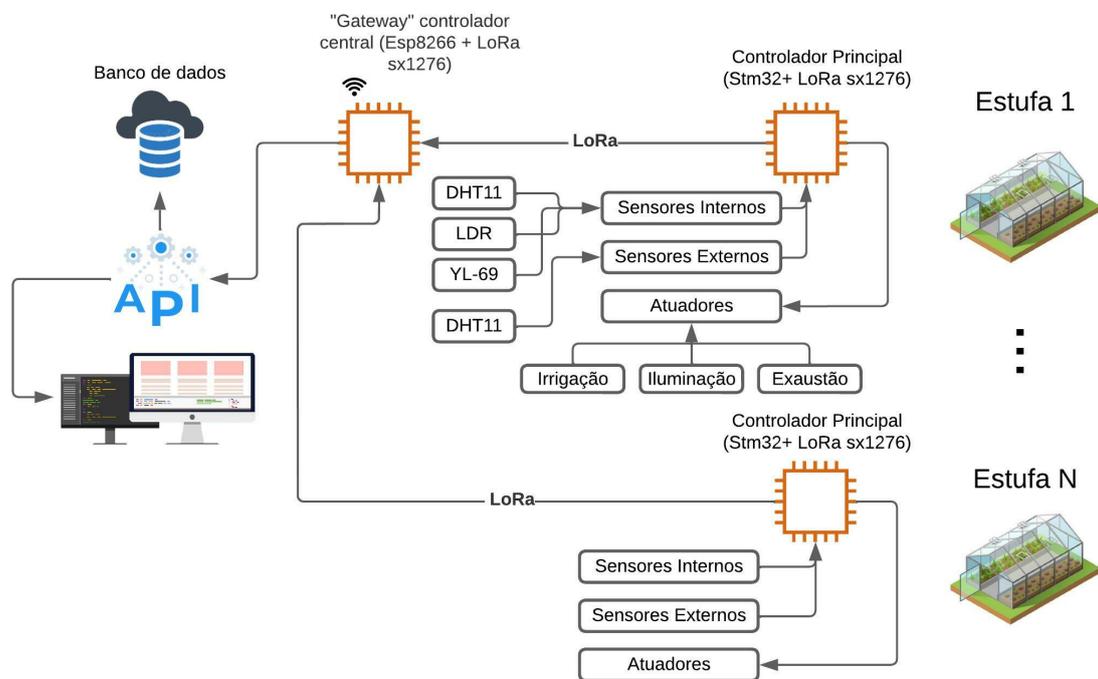
Na agricultura o conceito IoT pode ser aplicado em diversas áreas, como em mapeamento de propriedades via drones, fornecer dados sobre variáveis do ambiente e sobre as variáveis de campo (biomassas de solo e planta), armazenar dados em nuvem, alertar fazendeiros via Short Message Service (SMS). Neste trabalho será abordada a aplicação da IoT para o monitoramento e controle do cultivo em estufas de abordagem tradicional, no solo, onde serão adquiridos a maioria dos dados de ambiente do solo, fazer o controle do ambiente e fornecer os dados para o agricultor via a aplicação web.

Em trabalhos relacionados sobre sistemas de monitoramentos de estufas, como o de Dan (2015) e Li (2019), geralmente são controlados fatores como umidade, temperatura, concentração de CO₂, incidência de luz, entre outros. No controle são utilizados sensores e atuadores para mensurar e controlar os fatores, também, após a coleta dos dados são enviados para um servidor local e o servidor local envia para a nuvem. É importante citar que o protocolo mais utilizado nos trabalhos de Dan (2015) e Li (2019), é o ZigBee, que oferece suporte à topologia de malha com baixo consumo de energia, contudo, é uma comunicação de pequenas distâncias.

Comparado aos trabalhos citados anteriormente eles utilizam uma topologia de malha entre os sensores, ou seja, cada sensor possui seu modulo zigBee e sua bateria. Já no projeto os sensores são ligados ao controlador através de fios, o que gera a desvantagem da mobilidade dos sensores, mas por outro lado não necessitam de trocas de baterias e diminui a perda de dados caso ocorra alguma interferência que pode ser causada devido ao curto alcance deste protocolo.

A parte dos atuadores não é muito abordada nos trabalhos anteriores já que dependem muito de estufa para estufa para serem comparadas, mas a principal diferença é que nos demais o sistema de monitoramento é local por estufa, ou seja, cada estufa necessitaria de um sistema e como cada possui um custo elevado pelas baterias e módulos Zigbee deixa de ser tão acessível. Na Figura 2 é apresentado a organização de rede do projeto que é baseada em um gateway LoRa centralizado que disponibiliza interfaces para múltiplas estufas que podem se localizar a grandes distâncias, dependendo de suas antenas, e os dados e controles através de interface web que pode ser acessada de qualquer lugar, não apenas no local da estufa.

Figura 2 – Organização de Rede e Hardware



Autor: Gustavo Pilon Jurgensen

3 SISTEMA DE MONITORAMENTO E AUTOMAÇÃO PROPOSTO

Para o sistema de monitoramento e automação proposto para a estufa antes de qualquer coisa é necessário ser feita a sua modelagem e estruturação, levantamento de requisitos funcionais e não funcionais e testes de funcionalidades. Pois estes processos garantem a qualidade do software e do sistema, que serão apresentados neste capítulo.

3.1 MODELAGEM DO SISTEMA

A modelagem do sistema é uma das principais atividades de um projeto de qualidade, pois de maneira abstrata e clara define modelos para comunicar a estrutura e o comportamento desejados do sistema, visualizar e controlar a arquitetura e compreender melhor seu funcionamento. As etapas de modelagem utilizadas neste projeto são o Levantamento de Requisitos e diagramas UML.

3.1.1 Levantamento de Requisitos

Para que o sistema cumpra sua função de monitoramento e controle do ambiente é necessário analisar e fazer o levantamento dos requisitos que devem ser cumpridos. Os requisitos são divididos em duas categorias os funcionais que definem o que o sistema deve prover, definem as funcionalidades do sistema, já os não funcionais geralmente são tratados como premissas e restrições técnicas de um projeto.

Então para o sistema de monitoramento e automação da estufa os requisitos funcionais são:

- Controlar umidade e temperatura do ambiente;
- Controlar umidade do solo;
- Controlar luminosidade;
- Controlar mecanismos de exaustão;
- Medir condições do ambiente externo à estufa;
- Comunicar as estufas à um Gateway para o tráfego de dados;
- Disponibilizar os dados e controle online;

E existe apenas um requisito não funcional, a Taxa de aquisição de dados, que pode ser alterada pelo usuário, mas foi mantida uma a cada 20 minutos.

3.1.2 Modelagem de Diagramas UML

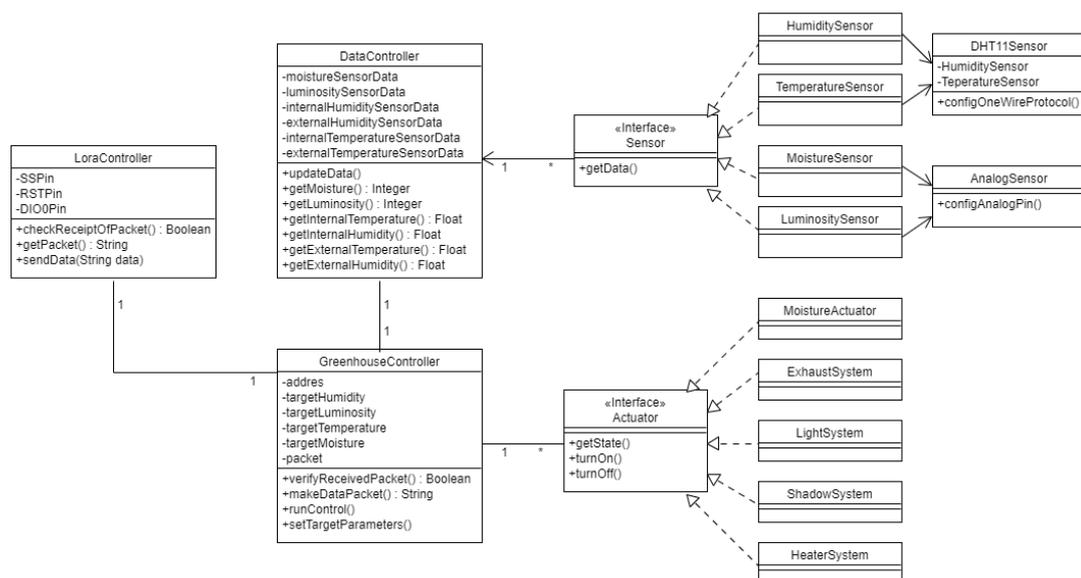
A UML é uma linguagem universal que auxilia a comunicação clara e objetiva entre pessoas envolvidas no processo de produção de software. Ela é dividida em

dois grupos de diagramas, os estruturais utilizados para especificar detalhes da estrutura do sistema (parte estática) e os comportamentais que especificam detalhes do comportamento do sistema (parte dinâmica).

O principal diagrama estrutural do sistema é o diagrama de classes da Figura 3 que serve de apoio aos outros diagramas, pois exibe o conjunto de classes com seus atributos e métodos e os relacionamentos entre classes. A classe GreenhouseController é a principal do sistema e é responsável por orquestrar o controle, comunicação de rede e aquisição de dados.

Ligadas a classe principal existem as classes responsáveis pela troca de informação da estufa com o Gateway (LoRaController), gerenciamento de leitura e armazenamento dos dados dos sensores (DataController) e as classes dos atuadores do sistema.

Figura 3 – Diagrama de Classes



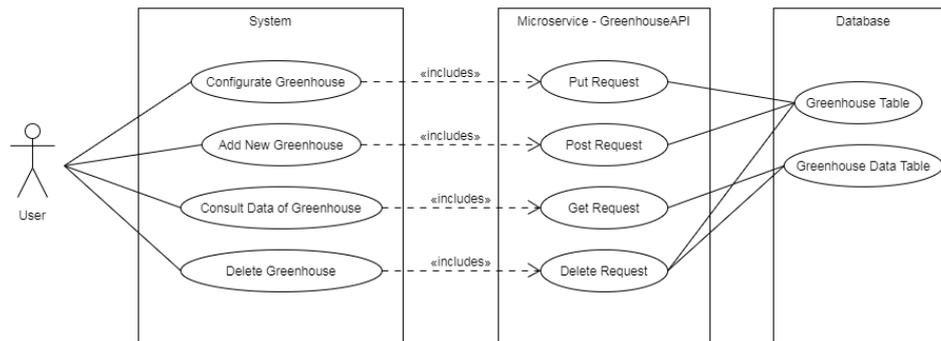
Autor: Gustavo Pilon Jurgensen

Com o esqueleto do sistema definido os próximos diagramas definidos são os do comportamento do sistema tanto internamente quanto sua relação com o usuário. Para relacionar o usuário com o sistema é utilizado o diagrama de casos de uso da Figura 4 que expressa de maneira simplificada as ações que os atores podem executar no sistema.

Como o projeto se trata de um projeto de controle autônomo o usuário terá apenas as iterações com um Web App de controle para definir os valores de parâmetros alvos a serem controlados, adicionar ou excluir novas instâncias de estufa e principalmente consultar os dados históricos adquiridos e persistidos pelo sistema.

Para compreender o ciclo de vida de um objeto no sistema é necessário utilizar o diagrama de máquinas de estados, como na Figura 5. Como esse sistema possui três

Figura 4 – Diagrama de Casos de Uso

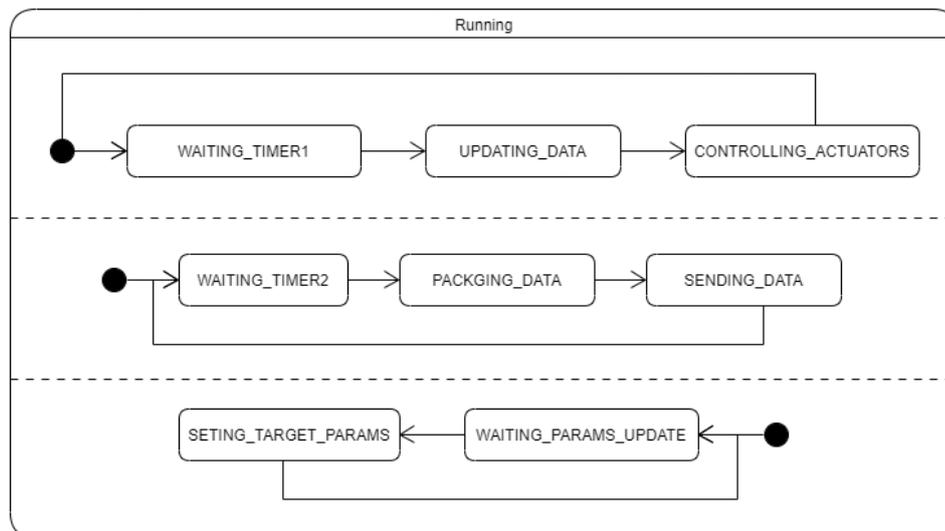


Autor: Gustavo Pilon Jurgensen

estados distintos em tempo de execução é necessário tratá-los paralelamente nesta modelagem.

Como pode ser visto na Figura 5 existem dois processos controlados por interrupções de timers e um que executa em todo o tempo livre do controlador. O disparo do primeiro Timer é responsável por atualizar os dados para as variáveis locais e controlar os atuadores, já o disparo do segundo é para processar e enviar o pacote de dados ao gateway e por fim o que sempre executa é a verificação se recebe alguma atualização de parâmetros através do gateway feita pelo usuário.

Figura 5 – Diagrama de Transição de Estados



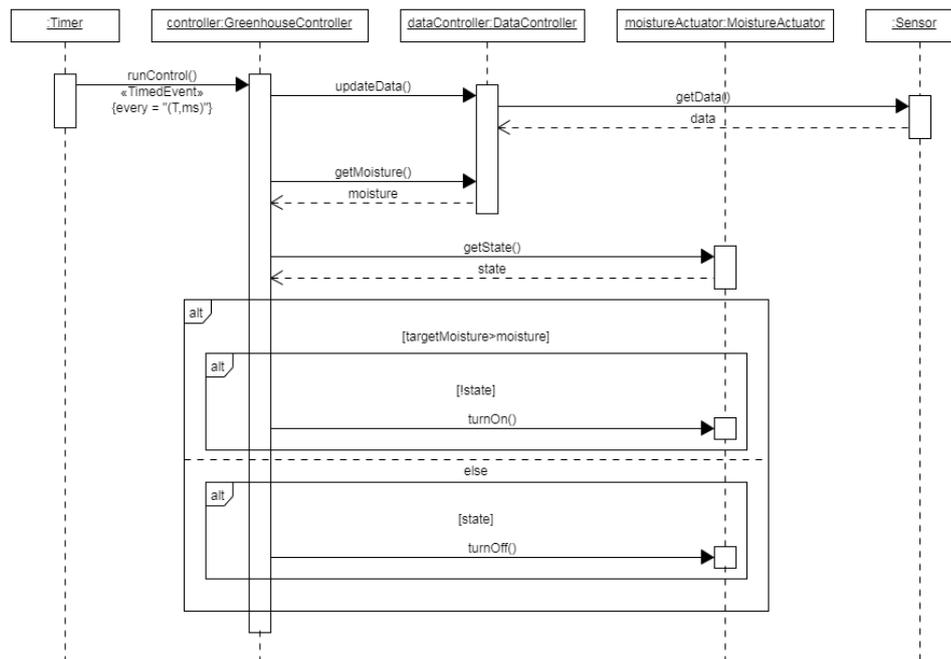
Autor: Gustavo Pilon Jurgensen

Agora para descrever a ordem temporal em que as mensagens são trocadas entre os objetos são utilizados os diagramas de sequência e como foram definidos três processos paralelos para o sistema também são necessários três diagramas, um para cada. O diagrama da Figura 6 representa o processo de aquisição de dados e controle

dos atuadores.

Por motivos de compactação do diagrama foi considerado apenas o controle do sistema de umidade do solo, já que os demais são semelhantes. O timer é disparado a cada T milissegundos então a classe principal requisita a atualização dos dados dos sensores, adquire o valor do sensor desejado, verifica o estado do atuador e toma as devidas ações para esse conjunto sensor-atuador.

Figura 6 – Diagrama de Sequência - Controle



Autor: Gustavo Pilon Jurgensen

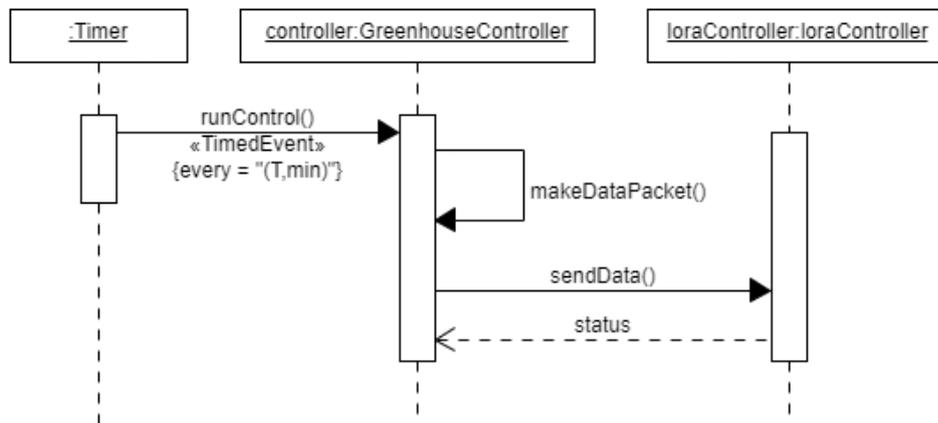
O diagrama da Figura 7 define o processo de envio de dados da estufa para o gateway, basicamente é montado um pacote em formato JSON, que será consumido pela API, com os dados da estufa e os últimos dados dos sensores coletados. Após o empacotamento dos dados através de comunicação LoRa é enviado ao gateway.

O último processo é definido pelo diagrama de sequência da Figura 8 que de maneira simplificada verifica se recebeu um pacote de dados do gateway e se é de fato para aquela estufa, através de seu endereço, se sim é atualizado os parâmetros alvos de controle do sistema.

3.2 APRESENTAÇÃO DO HARDWARE

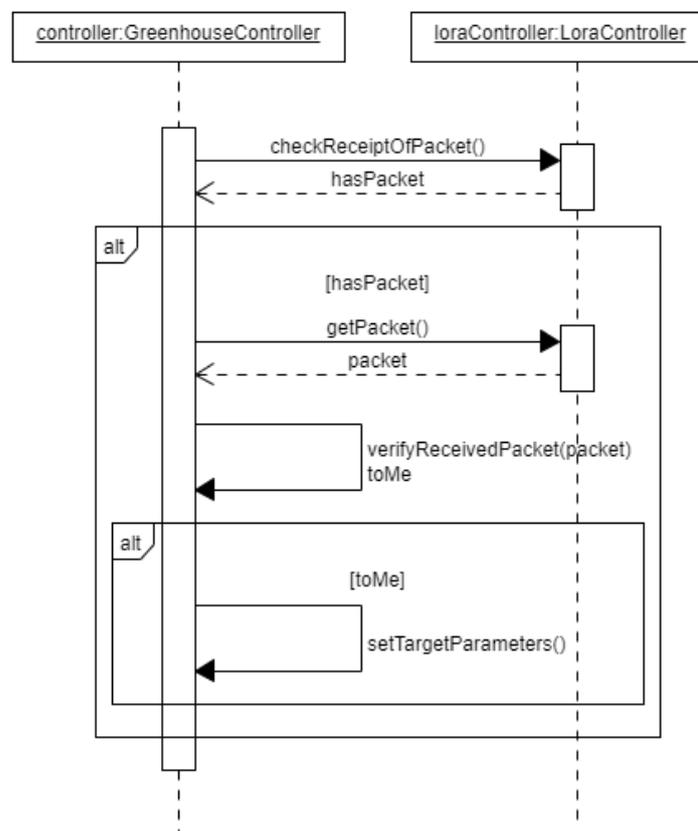
Para conseguir fazer a aquisição de dados dos sensores é necessário entender seus princípios de funcionamento. Para o sensor LDR é a fotocondutividade, que nada mais é do que um fenômeno óptico. Quando a luz é absorvida pelo material, a

Figura 7 – Diagrama de Sequência - Envio de dados



Autor: Gustavo Pilon Jurgensen

Figura 8 – Diagrama de Sequência - Recebimento de dados



Autor: Gustavo Pilon Jurgensen

condutividade do material aumenta, ou seja, quando a luz incide sobre o LDR, então os elétrons na banda de valência do material estão apertos para a banda de condução. Mas, os fótons na luz incidente devem ter energia superior à diferença de banda do material para fazer com que os elétrons saltem de uma banda para outra (valência para condução).

Assim, quando a luz tem ampla energia, mais elétrons são excitados para a banda de condução que classifica em muitos portadores de carga. Quando o efeito desse processo e o fluxo da corrente começam a fluir mais, a resistência do dispositivo diminui e assim mensuradas por entradas analógicas do microcontrolador.

Já para o sensor de umidade do solo é utilizada a variação de capacitância ou resistência para medir o teor de água do solo, que altera tensão na porta analógica no controlador. Neste trabalho foram ambos testados e o de resistência escolhido. Um sensor resistivo de umidade do solo funciona usando a relação entre resistência elétrica e teor de água para medir os níveis de umidade do solo através de duas sondas expostas que são inseridas diretamente na amostra de solo.

Uma corrente elétrica é enviada de uma sonda para a outra, o que permite ao sensor medir a resistência do solo entre elas. Quando o teor de água no solo é alto, ele tem uma maior condutividade elétrica, assim, uma leitura de resistência mais baixa é obtida, o que indica alta umidade do solo e o oposto é válido.

Um sensor capacitivo de umidade do solo funciona medindo a mudança na capacitância, que mede a quantidade de carga elétrica que pode ser armazenada em um potencial elétrico. Ele é feito de uma placa positiva e negativa, que são separadas por um meio dielétrico (solo neste caso). O sensor é emparelhado com um circuito temporizador para que seja obtida uma tensão analógica que pode ser lida pelo microcontrolador e varia diretamente com o teor de umidade do solo.

O sensor DHT11 é composto por um sensor capacitivo de umidade e um termistor para sensoriamento de temperatura. O capacitor de detecção de umidade tem dois eletrodos com um substrato de retenção de umidade como dielétrico entre eles, com funcionamento similar ao de umidade do solo. Valores de resistência alterados são processadas por um CI que os transforma em formato digital.

Para a medição da temperatura este sensor utiliza um termistor de coeficiente de temperatura negativo, que provoca uma diminuição no seu valor de resistência com o aumento da temperatura. Para obter maior valor de resistência mesmo para a menor mudança de temperatura.

A faixa de operação do DHT11 é de 0 a 50 graus Celsius com precisão de 2 graus e umidade deste sensor é de 20 a 80% com precisão de 5%. A taxa de amostragem deste sensor é de 1Hz, ou seja, dá uma leitura para cada segundo, tensão de operação de 3 a 5 volts e corrente máxima usada durante a medição é de 2,5 mA.

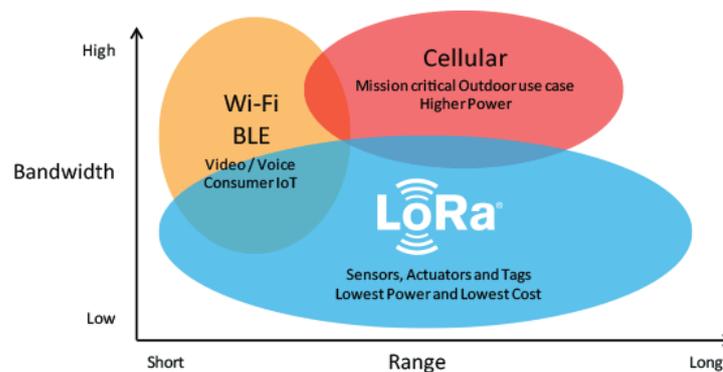
Agora na parte de comunicação é utilizado o protocolo LoRa que significa Long

Range. É uma tecnologia de radiofrequência sem fio usada para transmitir informações bidirecionais a longa distância sem consumir muita energia.

Normalmente, Lora pode atingir uma distância de 15 a 20 km e pode funcionar com bateria por anos. Existem variações LoRa, LoRaWAN e LPWAN que são três terminologias diferentes e não devem ser confundidas uma com a outra.

A tecnologia LoRa possui algumas desvantagens, a fim de alcançar alta distância, como baixa potência e operação da largura de banda. A largura de banda máxima para Lora é de cerca de 5.5 kbps, ou seja, é possível enviar apenas uma pequena quantidade de dados por segundo comparado ao Wi-Fi por exemplo, mas que é necessária para a aplicação este trabalho, já que o envio dos dados adquiridos pelos sensores é feita uma vez a cada 20 minutos. O gráfico na Figura 9 a comparação do LoRa com dispositivos Wi-Fi, Bluetooth e Celular.

Figura 9 – LoRa vs outras comunicações



Autor: Jesse Hall

3.3 DESENVOLVIMENTO TESTES

Para que exista um bom controle de qualidade e confiabilidade dos requisitos e diagramas levantados são utilizados os testes de software, que é um conjunto de atividades planejadas destinadas a mostrar que o programa está funcionando de maneira correta e descobrir se há defeitos no processo.

Existe uma diversa variedade de tipos de desenvolvimento de testes como teste de caixa branca, caixa preta, regressão, unidade, de carga, dentre outros. O teste de unidade, também conhecido como teste unitário, é um dos modelos mais utilizados e seu objetivo é verificar o comportamento das menores unidades da aplicação, que a partir de um conjunto de entrada verifica o comportamento da unidade e espera um resultado específico.

Após os testes unitários geralmente são desenvolvidos os testes integrados que são responsáveis em verificar o funcionamento do conjunto, as unidades integradas entre si. Pois pode ocorrer das classes ou métodos apresentarem incompatibilidades

ao funcionarem em conjunto, mesmo após terem sido validadas no teste de unidade.

Como este projeto é dividido em dois softwares distintos, software da parte de hardware e a API que gerencia todos os dados, é necessário validar ambos com testes unitários e integrados.

3.3.1 Testes Unitários

Para aplicar os testes unitários existem diversas bibliotecas e frameworks dedicados para cada linguagem de programação. Como no software de hardware é utilizada a linguagem C++ o framework utilizado é o googleTest com o auxílio do googleMock e como a API é desenvolvida com JAVA são utilizadas as bibliotecas Junit5 e Mockito.

O teste unitário não pode depender de objetos externos, como os periféricos do microcontrolador ou até mesmo um banco de dados, pois são dinâmicos, então para testar os métodos que dependem de eventos externos é utilizado o Mock. O mock permite criar uma versão fake de serviços externos ou internos que podem substituir o real, por exemplo em um teste unitário eu não possuo acesso ao valor de um sensor de temperatura, então para isso seu método de aquisição de dados é emulado para que quando chamado retorne um valor fictício previamente definido como 25°C.

Os testes unitários são baseados em três principais pontos Arrange, Act e Assert. Na parte de Arrange é onde são feitas as principais definições da classe a ser testada, como a sua declaração e o mock, já na parte Act é onde são efetuadas as chamadas de seus métodos para teste como ler a temperatura ambiente e na parte de Assert são onde realmente feitas as validações do que é esperado que um método retorne, através de igualdades, desigualdades ou até mesmo se recebe um valor válido.

3.3.1.1 Testes unitários do sistema da Estufa

Para o sistema da estufa os testes unitários são feitos para todas as classes e métodos apresentados no diagrama da Figura 3 para isso foi utilizado o googleTest com o googleMock para emular as classes que dependem de eventos externos, como sensores por exemplo.

Depois das classes que dependem de eventos externos terem suas funções emuladas pelo mock os testes são feitos a partir delas. As primeiras funcionalidades a serem testadas são as da classe de Actuator, que consiste em ligar ou desligar o atuador dependendo da entrada fictícia do sensor, como ligar o sistema de exaustão se a temperatura interna for maior que 35°C.

Agora no teste dos sensores analógicos é preciso utilizar o mock feito anteriormente de sua função getData então na sua etapa de Act é utilizado *ON_CALL* que define uma ação para quando o método do objeto é chamado e esta ação será o

WillByDefault(Return(value)) que por default o método retorna um valor desejado e por fim feita as validações dos valores desejados, o mesmo é valido para o teste do sensor DHT11.

Para a classe LoraController todos seus métodos necessitam de mock, pois é dependente diretamente de outro módulo para enviar e receber dados. No teste da classe DataCrontoller, que engloba todos os sensores presentes, é necessário criar instâncias deles, emulá-los e passá-los por referência para a classe DataController para que possam ser utilizados e lidos seus dados.

A última classe a ser testada é a que é responsável por todo o processamento do microcontrolador da estufa, ela engloba todos os objetos citados acima, então é um teste mais extenso dividido em três partes: Aquisição dados e configuração de parâmetros, Controle de atuadores e controle do rádio LoRa, assim como no diagrama de máquina de estados da Figura 5.

3.3.1.2 Testes Unitários API

Como o projeto engloba uma interface para alterar os parâmetros e consultar os dados atuais da estufa, também é necessário garantir a qualidade dos dados e back-end da aplicação. Para os testes da API são utilizadas principalmente as bibliotecas Mockito e Junit5.

A biblioteca Mockito é responsável por emular ou imitar as classes GreenhouseRepository e GreenhouseDataRepository que são as responsáveis pelas alterações dos dados no banco. Já o Junit5 é o responsável por rodar e configurar os testes junto com o springFramework e fazer as "Assertions".

Para os testes unitários da API a estrutura é a mesma que a do sistema da estufa (Arrange, Act e Assert) excessos que para a API para testar os métodos é através de requests Http(GET,POST,PUT e DELETE) para as Uri correspondentes e receber uma response contendo o status e em seu body os objetos requisitados, se existirem.

As requisições do tipo GET a serem feitas a API, são divididas em quatro tópicos:

- Receber todos os objetos Greenhouse (".../greenhouse/")
- Receber um objeto Greenhouse específico procurado pelo seu endereço (".../greenhouse/addr")
- Receber todos os objetos GreenhouseData (".../greenhouse/data/")
- Receber todos os objetos GreenhouseData referente a uma Greenhouse especifica em um determinado período (".../greenhouse/data/luminosity/addr/addr/date/date")

Então para os testes do tipo GET foram definidos valores fictícios para objetos Greenhouse e objetos GreenhouseData para serem retornados pela API junto com o HTTP Status quando as requisições GET são feitas.

As requisições do tipo POST são utilizadas para inserção de dados, e para testá-las os objetos do tipo Greenhouse e do tipo GreenhouseData são utilizadas sem Id, uma vez que é gerado automaticamente pelo banco quando há inserção. Após isso são feitas as requisições para seus respectivos Uri aguardando o retorno do mesmo objeto mas agora com Id presente e um HTTPStatus OK(200).

O DELETE é para a deleção de objetos, no entanto pode ser passado um objeto que não está presente no banco de dados, então isso tem que ser tratado e testado. Neste caso são necessários dois testes, um em que é passado o endereço de um objeto presente no banco e um teste que é passado o endereço de um objeto não presente no banco. Como o objeto não existe no banco não é possível fazer a deleção então é esperado que a resposta seja um HTTPStatus badRequest e que seja lançada uma Exceção, pois não foi possível fazer a remoção.

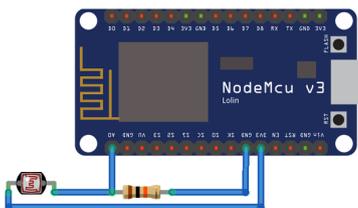
A requisição http PUT, é utilizada para fazer o update de dados, mas também podem ser passado objetos inexistentes ou sem identificador, casos que devem ser tratados. Então são feitos testes para o sucesso no update, para a falha quando é passado um objeto sem identificador e um para quando o objeto não existe no banco.

3.3.2 Testes Integrados

Nesta etapa, com os testes unitários já validados, os códigos são testados em seus "ambientes reais". O teste das classes responsáveis pelo controle da estufa foi muito similar ao unitário só que agora fazendo a aquisição dos dados diretamente dos sensores e sendo exibidos através de uma porta serial, testes de ligar e desligar os atuadores e as comunicações Wifi e LoRa.

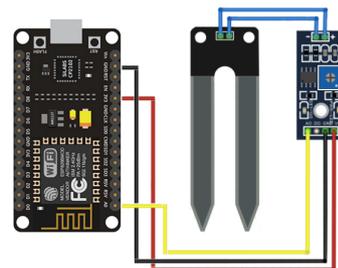
O sistema possui sensores analógicos de luminosidade e de solo, e como seus funcionamentos são semelhantes utilizam a mesma classe para os testes. Os seus esquemas de ligação estão presentes na Figura 10 e 11 respectivamente. Neste teste são testados sua função de configuração de pino como Input e a função de aquisição de dados que faz a leitura analógica do barramento.

Figura 10 – Sensor de Luminosidade



Autor: Gustavo Pilon Jurgensen

Figura 11 – Sensor de Solo

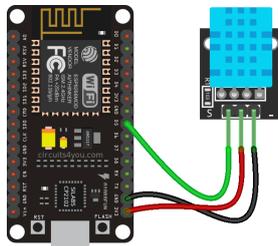


Autor: Gustavo Pilon Jurgensen

Os testes dos sensores DHT11 tanto externo quanto interno testam as mesmas funções que os analógicos, o que apenas diferencia é que este sensor opera com o protocolo One Wire então sua função de aquisição de dados utilizada um pino digital para leitura e sua ligação é representada na Figura 12.

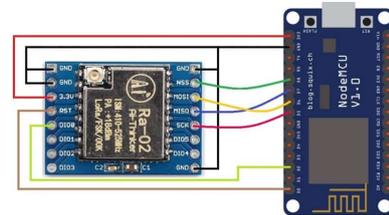
Para os testes do módulo LoRa foi conectado um LoRa sx1278 em um esp8266(gateway) e um no microcontrolador stm32(responsável pela estufa), como na Figura 13. Após isso a comunicação entre eles foi feita com o Esp faz uma requisição, o STM32 responde com dados fictícios empacotados como JSON(formato que a API requisita) e a resposta recebida pelo Esp32 é exibida no monitor serial.

Figura 12 – Sensor DHT11



Autor: Gustavo Pilon Jurgensen

Figura 13 – LoRa sx1278 para ESP8266



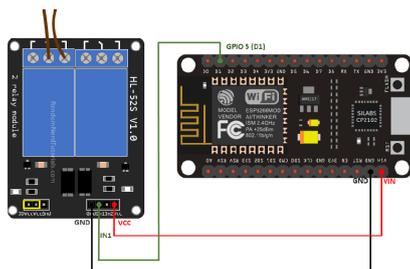
Autor: Gustavo Pilon Jurgensen

Para os atuadores de controle de luminosidade e controle de umidade do solo foi feito apenas o teste de ligar e desligá-los através de um relé como na Figura 14 abaixo.

O atuador responsável pelo sistema de exaustão é um pouco mais complexo que apenas ligar e desligar, como ele é responsável por abri e fechar uma janela é necessário inverter o sentido de rotação do motor, saber se está aberta ou fechada e se chegou no seu ponto máximo e mínimo.

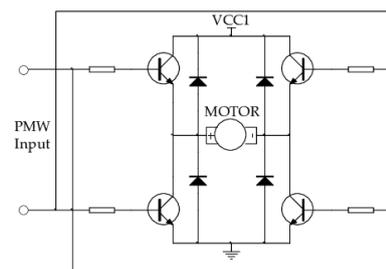
Então para inverter o sentido do motor e controlar a velocidade é utilizado um circuito bastante conhecido para motores DC, que é a ponte H apresentada na Figura 14. E para saber se a janela atingiu seu ponto máximo e mínimo de abertura são utilizados dois botões pull-up ligados a portas digitais que possuem o recurso de interrupção.

Figura 14 – Esquema Relé



Autor: Gustavo Pilon Jurgensen

Figura 15 – Circuito Motor - Ponte H



Autor: Gustavo Pilon Jurgensen

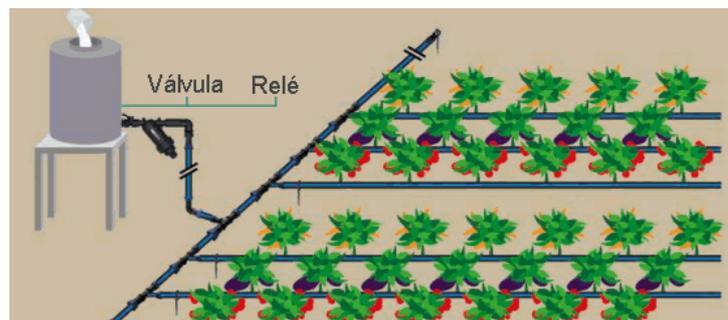
Agora com todos os dados necessários para consumir a API, foram feitos os testes do controlador da estufa enviar o pacote de dados, já formatado em JSON, para o Gateway e ele enviar o JSON com um POST request para a API(..../greenhouse/data) e verificado se foi salvo no banco de dados.

Para os testes integrados dos outros métodos da API foi utilizado o software Postman que permite montar requisições http de todos os tipos. Então, foram feitos os testes para as mesma URIs só que agora de fato fazendo alterações em dados reais no banco e não fictícios, por exemplo ao invés de passar um mock do objeto para a URI é passado no body da requisição Http um objeto JSON que contém todas as características das tabelas necessárias.

4 IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS

Como citado anteriormente o sistema possui 3 principais atuadores para controlar as variáveis do ambiente interno à estufa. O conjunto de controle de irrigação é composto pelo sensor de umidade do solo e seu relé aciona uma válvula que libera o fluxo de água para as mangueiras espalhadas presente na Figura 16.

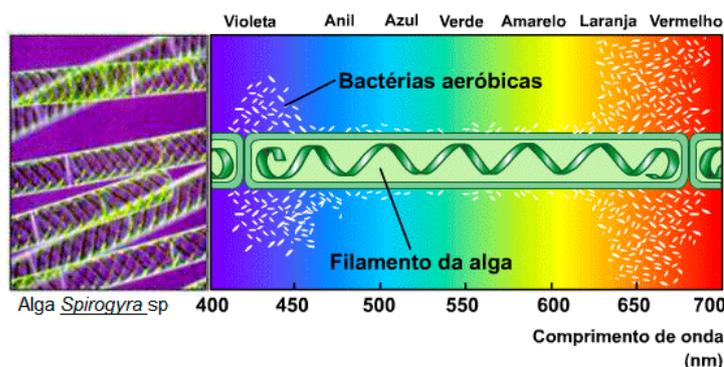
Figura 16 – Sistema de Irrigação



Autor: Gustavo Pilon Jurgensen

O segundo sistema é o de iluminação que é similar ao anterior apenas trocando o sensor e a válvula por uma lâmpada laranja com espectro de onda aproximadamente de 650nm, isto proporciona as plantas cultivadas que continuem o processo de fotossíntese em seu maior nível de absorção. Na Figura 17, é demonstrado o famoso estudo do botânico George Engelmann, que diz que quando um filamento de alga é exposto à diferentes espectros de luz, os espectros mais absorvidos são em torno de 450 e 650nm, devido a maior concentração de bactérias aeróbicas.

Figura 17 – Experimento de Engelmann



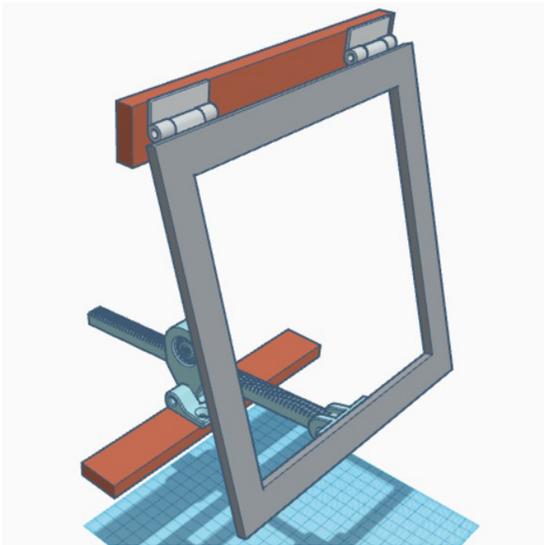
Autor: Martha Ramos

O último sistema de controle, de exaustão, é composto em sua parte mecânica por uma janela, um par de engrenagens linear, motor, dois fins de curso e algumas

peças complementares como pode ser visto nas Figuras 18 e 19.

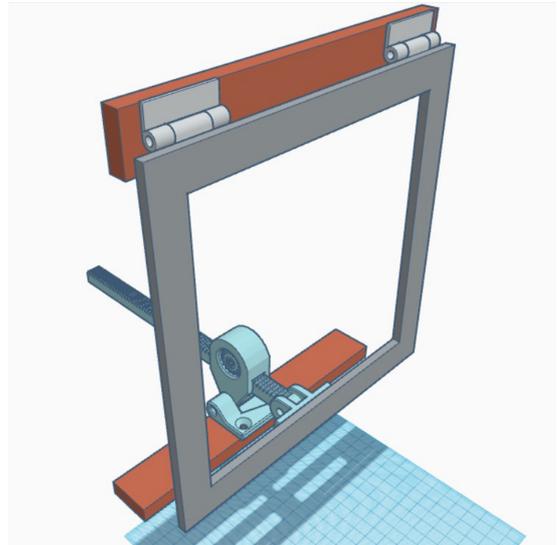
Seu funcionamento é baseado em uma temperatura alvo atingida, neste caso 25°C, então o motor aciona o conjunto de engrenagens até o fim de curso de abertura ative a interrupção em que é invertido o sentido de rotação do motor por um instante apenas para desencostar do botão de interrupção e depois colocado em estado idle, ele se repete para o processo de fechamento da janela de exaustão apenas invertendo os sentidos.

Figura 18 – Mecanismo de abertura de janela aberto



Autor: Gustavo Pilon Jurgensen

Figura 19 – Mecanismo de abertura de janela fechado



Autor: Gustavo Pilon Jurgensen

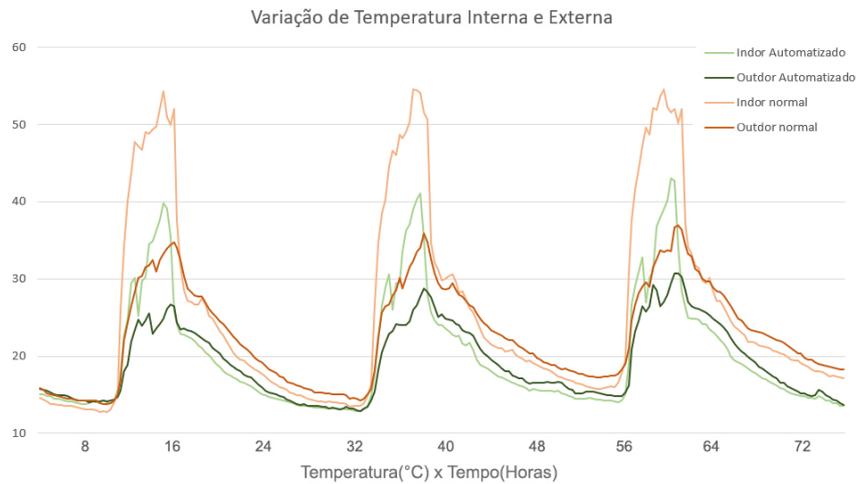
Com todos os atuadores e os dados coletados antes e depois da automatização são obtidos gráficos de comparação dos dois modelos propostos. A primeira comparação é sobre a variação de temperatura da Figura 20 em que os tons de verde representam as temperaturas internas e externas após a implantação do sistema de exaustão, e os tons de laranja para antes da implantação.

Para melhor visualização gráfica foram comparados apenas três dias para cada, mas na aplicação web os demais podem ser vistos, a primeira e mais notável diferença são os picos da temperatura interna da estufa que antes da automatização chega até 55°C o que é prejudicial para a plantação, já que a temperatura ideal gira em torno de 35°C.

O pico máximo após o sistema de exaustão é de 45°C que é uma boa diferença do normal, mas ainda bem acima dos 35 ideais, isso se deve ao tamanho da janela acoplada ao sistema. Com uma maior janela e um sistema de ventilação acoplado acreditasse que a temperatura abaixaria mais.

Outro fato é a temperatura externa a temperatura ter diminuído um pouco também já que o sensor está bem próximo à estufa. Também foram calculas as

Figura 20 – Relações de temperaturas

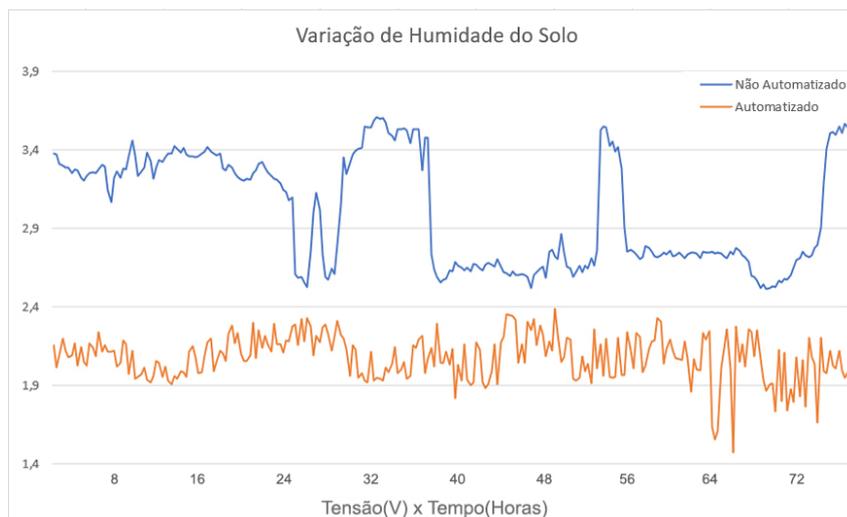


Autor: Gustavo Pilon Jurgensen

temperaturas medias as externas ficaram em torno de 30 e 28 graus e internas 41 e 32 graus, para não automatizada e automatizada respectivamente, que definem uma pequena diferença na externa e uma grande diferença na interna.

O sistema de iluminação não é possível desmontar seus dados em gráficos já que apenas liga quando está noite e não pode alterar o valor do sensor senão ele desligará a lâmpada. O gráfico do controle de umidade do solo é apresentado na Figura 21 em que azul é a umidade antes do sistema de controle e laranja após.

Figura 21 – Relação de umidade do solo



Autor: Gustavo Pilon Jurgensen

Antes da implantação do sistema de irrigação existiam grandes picos variação, como pode ser visto na curva azul, e após a implantação elas diminuem expressivamente. Para demonstrar a variação foi calculado o desvio padrão para

os dados coletados e para o não automatizado ficou em torno de 0.354 e para o automatizado 0.144 o que prova que ainda existem oscilações, mas bem menores. Na Tabela 1 são exibidos esses dados médios e oscilatórios das temperaturas e umidade do solo.

Tabela 1 – Não automatizado vs Automatizado.

Processo	Não Automatizado	Automatizado
Temperatura média externa	30.45°C	28.2°C
Temperatura média interna	41.11°C	32.32°C
Desvio Padrão temperatura interna	12.56	7.45
Umidade do solo média	3.006 V	2.078 V
Desvio Padrão umidade do solo	0.3547	0.1442

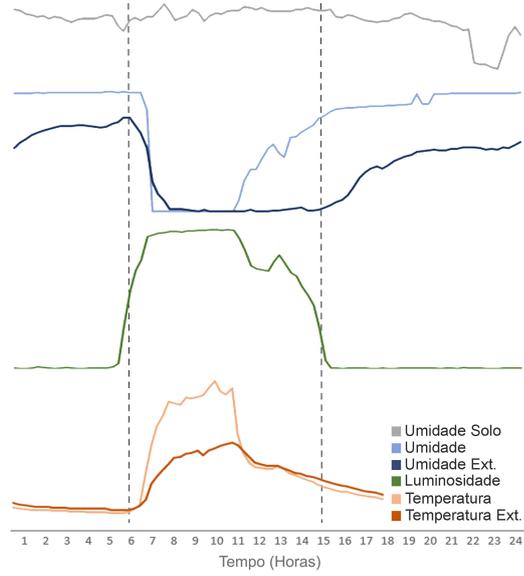
Outro gráfico importante a mencionar são os dados cruzados de todos os sensores como pode ser visto na Figura 22, nele é possível traçar uma relação da umidade do ar com a luminosidade e temperatura. Neste caso são inversamente proporcionais, ou seja, quando a temperatura e a luminosidade estão em altos valores a umidade do ar diminui consideravelmente e isso sempre se repete, ele é valido para o inverso.

Também é interessante notar que a diferença de umidade externa e interna à estufa, ambas têm comportamentos semelhantes as diferenças é que como a temperatura interna sofre variações mais abruptas a umidade também sofre. O interessante do fator estufa é que possibilitou uma maior retenção e por mais tempo de umidade do ar o que beneficia o crescimento e saúde da plantação.

Na Figura 23 é demonstrado resultado da construção da estufa implantação dos sensores e atuadores. Nela temos o mecanismo de exaustão aberto e fechado junto a seus fins de curso e rotor, também no solo as mangueiras de irrigação e o sensor de umidade do solo. Já na sua parte superior os sensores DHT11 e LDR junto a lâmpada de controle de luminosidade e em sua parte externa as ligações elétricas o controlador junto ao LoRa e o DHT11 externo.

A interface do usuário possui duas principais telas, a primeira é exibida na Figura 24 e é utilizada para o cadastro e visualização de novas estufas definindo seu tipo de cultivo, parâmetros de controle e endereço. A segunda tela, da Figura 25, é responsável por exibir os dados coletados por períodos, reconfigurar os parâmetros de controle de acordo com a necessidade e deletar a estufa.

Figura 22 – Dados cruzados de todos os sensores



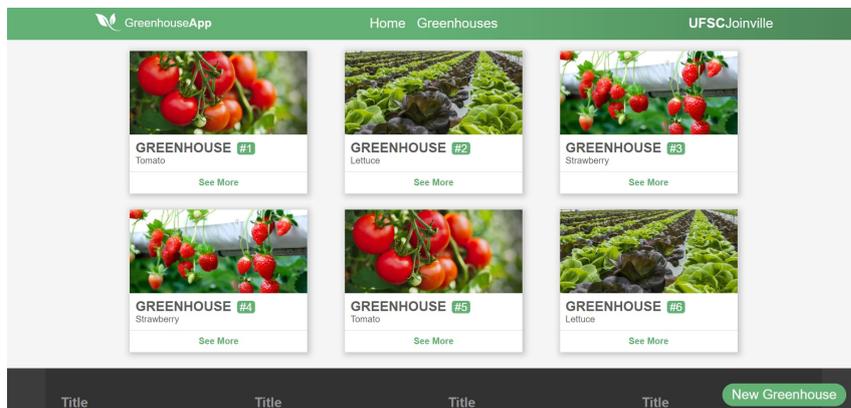
Autor: Gustavo Pilon Jurgensen

Figura 23 – Implementação na estufa



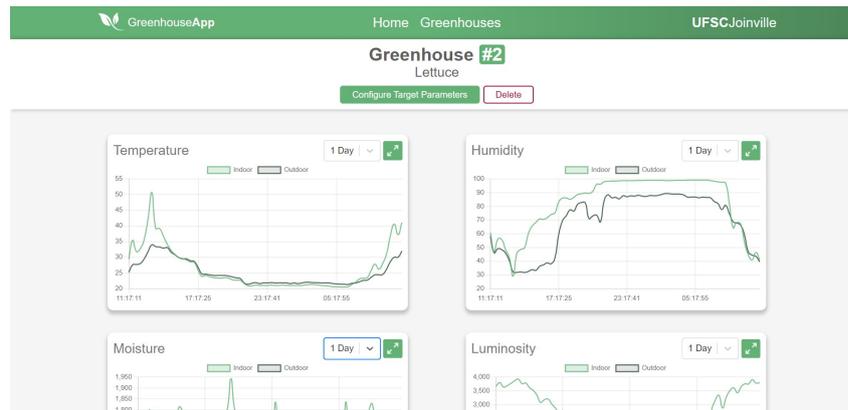
Autor: Gustavo Pilon Jurgensen

Figura 24 – Tela de cadastro



Autor: Gustavo Pilon Jurgensen

Figura 25 – Tela de visualização gráfica



Autor: Gustavo Pilon Jurgensen

4.1 VALIDAÇÃO DE REQUISITOS

No capítulo 3 foram levantados os requisitos funcionais e não funcionais do sistema para seu desenvolvimento e na Tabela 2 é feita a referência de quais foram cumpridos. Os requisitos I e IV estão diretamente relacionados já que o sistema de exaustão altera a temperatura, então o IV foi cumprido pelo controle do sistema das Figuras 18 e 19 e o I foi parcialmente cumprido pois não foi desenvolvido um sistema exclusivo para o controle da umidade do ar, só para a temperatura.

Os requisitos II e III foram cumpridos através dos sistemas de irrigação e luminosidade citados na sessão anterior compostos por um relé e seus respectivos atuadores, uma válvula solenoide e uma lâmpada. Os demais requisitos são dependentes entre si já que para os dados e controle estarem disponíveis via web é necessária a comunicação estufa-gateway e a aquisição dos sensores.

Como apresentado no capítulo 4 o requisito V foi cumprido com o posicionamento de um sensor DHT11 na parte externa da estufa, além dos internos. O VI foi satisfeito através da comunicação de dois módulos LoRa e um deles também possuía conexão com a internet para fazer chamadas para a API e que caso não fossem recebidas respostas entre LoRa era tentada a reconexão.

Por fim o VII foi consumir a API que o gateway injetou dados e mostrar em tela para usuário fazer suas operações e para isso foram utilizadas as linguagens JAVA e Javascript.

Tabela 2 – Validação de Requisitos.

Requisito	Resultado
I Controlar umidade e temperatura do ambiente	Parcialmente
II Controlar umidade do solo	Cumprido
III Controlar luminosidade	Cumprido

Continuação da Tabela 2	
Requisito	Resultado
IV Controlar mecanismos de exaustão	Cumprido
V Medir condições do ambiente externo à estufa	Cumprido
VI Comunicar as estufas à um Gateway para o tráfego de dados	Cumprido
VII Disponibilizar os dados e controle online	Cumprido

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme os resultados apresentados o projeto se encaminhou a resultados satisfatórios principalmente na parte de aquisição de dados da estufa já que não existiram perdas de dados e podendo ser estendido a N estufas por um custo baixo. O sistema de gateway composto por um esp8266 e um LoRa SX1278, que permite grandes distancias para o ambiente rural, fica em torno de 50 reais mais o custo da antena.

Já questão dos módulos básicos de monitoramento das estufas tem um custo em torno de 130 reais, então N estufas custariam $50 + 130 \cdot N$. E para os sistemas de atuadores o custo é bem variável pois dependem do tipo de cultivo e materiais e tamanho da estufa.

De nada adianta um sistema de monitoramento e automação se não existir uma interface para o usuário executar suas consultas e configurações. Usando a interface e API disponibilizadas é possível que o agricultor cadastre todas suas estufas, consulte os gráficos dos valores adquiridos, por períodos de tempos, e configure os parâmetros desejados para que seu sistema de controle atinja.

Para essa versão de estufa do trabalho o sistema de exaustão, irrigação e luminosidade integrados funcionaram como deveriam dentro de suas limitações de tamanho e potência, como apresentado nos gráficos comparativos.

Essas ferramentas podem ser bem úteis para o agricultar, pois com elas ele pode traçar relações entre safras e períodos climáticos para entender melhor o funcionamento do cultivo e maximizar seu lucro. Além de ter a interface disponível em qualquer dispositivo, em qualquer lugar, com todas suas estufas e tudo isso com um preço base acessível.

O estudo apresenta algumas limitações por ser feito em uma estufa de escala reduzida, como por exemplo a quantidade de sensores de umidade do solo, em estufas maior porte para uma maior precisão teriam que ser acrescentados mais. Outra questão é os atuadores que para este caso um simples motor DC de alto torque foi utilizado, mas para uma estufa com estruturas maiores e mais pesadas deve ser avaliado outro tipo de motor para a aplicação.

Para trabalhos futuros seria interessante estudos para melhorar o desempenho dos atuadores, principalmente de exaustão, acoplando uma ventoinha quando a janela estiver aberta e também fazer com que o sistema não dependa de energia externa e sim de energia solar, já que os módulos LoRa, além de todos os benefícios, permitem um baixo consumo de energia junto a seus controladores.

Portanto, o trabalho demonstrou que é possível que o agricultor tenha um

controle e observação de sua plantação com custos relativamente baixos precisando de apenas um ponto de internet centralizado, que pode ser localizado longe das estufas. Mostrou também que mesmo para uma estufa em escala reduzida é possível que se instale sistemas autônomos que reduzem o trabalho do agricultor, melhoram o rendimento do cultivo e podendo maximizar seus ganhos.

REFERÊNCIAS

ACADEMIA. **The greenhouse concept as used in agriculture its advantages and disadvantages**. San Francisco, 2019. Disponível em: www.academia.edu. Acesso em: 20 ago. 2021.

DAN, L. Intelligent agriculture greenhouse environment monitoring system based on iot technology. **IEEE International Conference on Intelligent Transportation Big Data and Smart City**, 2015.

FAO. **The Future of Food and Agriculture Trends and Challenges**. Worldwide, 2013. Disponível em: fao.org. Acesso em: 17 ago. 2021.

GEBBERS, R.; ADAMCHUK, V. Precision agriculture and food security. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 828–831, fev. 2010.

GILLIS. **What is internet of things (IoT)?** EUA, 2021. Disponível em: internetofthingsagenda.techtarget.com. Acesso em: 25 ago. 2021.

HIDROGOOD. **CULTIVO PROTEGIDO: ESTUFAS AGRÍCOLAS, HISTÓRIA E CARACTERÍSTICAS**. Taboao da Serra, 2018. Disponível em: hidrogood.com.br. Acesso em: 17 ago. 2021.

LI, N. Smart agriculture with an automated iot-based greenhouse system for local communities. **Advances in Internet of Things**, v. 09, n. 02, p. 17, abr. 2019.

MINERVA, R.; BIRU, A.; ROTONDI, D. Towards a definition of the internet of things (iot). **IEEE Internet of Things**, v. 1, n. 1, p. 7–10, maio 2015.

PARDOSSI, A.; TOGNONI, F.; INCROCCI, L. Mediterranean greenhouse technology. **The World of Horticulture**, v. 44, n. 2, p. 28–34, fev. 2004.